



CS06RA898

IBK-

INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE „BORIS KIDRIČ“
BEOGRAD-VINČA

IBK - 286

HEMIJA I METALURGIJA

IBK-286

Dj.Drobnjak, A.Mihajlović
DOPRINOS PROUČAVANJU KINETIKE
BETA→ALFA TRANSFORMACIJE
U URANIJUMU

- biće referisan na II jugoslovenskom simpozijumu
o reaktorskim materijalima, 13-16. oktobra 1965,
Herceg-Novi

.INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE "BORIS KIDRIČ"

BEOGRAD - VINČA

Šepembar 1965.

U V O D

Dosadašnja ispitivanja uticaja brzine hlađenja na temperaturu beta $\rightarrow$ alfa fazne promene su pokazala, da sa povećanjem brzine hlađenja dolazi do snižavanja temperature transformacije¹⁾. Međutim, postojeći rezultati ne daju nikakve indikacije o mehanizmu fazne promene. U novije vreme više istraživača je sugeriralo da se beta $\rightarrow$ alfa transformacija ne odvija istim mehanizmom pri svim brzinama hlađenja²⁻⁵⁾. Ovo navodi na zaključak da pri kontinuiranom hlađenju mora postojati diskontinuitet u kinetici transformacije. Za određivanje mehanizma transformacije naročito je važno utvrditi na koji način brzina hlađenja utiče na temperaturu transformacije u zavisnosti od temperature pregrevanja u beta oblasti. Poznato je na pr. da se transformacija odigrava na nižoj temperaturi kada je stepen pregrevanja veći^{6,7)}. Sledeći važan faktor koji može uticati na kinetiku transformacije je vreme zadržavanja u beta oblasti.

Zadatak ovog rada je bio da se ispita uticaj brzine hlađenja, temperature zagrevanja i vremena zadržavanja u beta oblasti na kinetiku beta $\rightarrow$ alfa transformacije, i na taj način dalje rasvetli mehanizam transformacije.

2. EKSPERIMENTALNI DEO

2.1. Materijal

Za rad je korišćen materijal standardnog kvaliteta koji je sadržavao 120 ppm Fe i 100 ppm Al kao glavne metalne nečistoće. Tipična analiza uranijuma data je u tabeli 1.

Uzorci u obliku diska debljine 0,2 do 1 mm i prečnika 8 mm dobijani su sečenjem valjanih i rotaciono

kovanih livenih oblica, dok su pravougaoni uzorci debljine 0,5 mm dobijani sečenjem traka pripremljenih valjanjem livenog materijala.

2.2. Aparatura i metode

Eksperimentalni rad je izveden u uređaju za kontinuirano hladjenje koji je detaljno opisan na drugom mestu⁸⁾. Pre termičke obrade uzorci su izbruženi na najfinijem brusnom papiru krupnoće 600, a zatim je sa jedne strane tačkasto zavaren termospoj Pt - PtRh. Ovako pripremljeni uzorci su stavljani u uređaj koji je evakuisan do vakuuma bolje od 10^{-4} mm Hg. Zagrevanje je vršeno spuštanjem uzorka u grejnu zonu uređaja. Promena temperature u funkciji vremena praćena je na brzohodnom pisaču. Hladjenje je izvodjeno ili u vakuumu ili u struji argona, premeštanjem uzoraka u hladnu zonu u kojoj se nalazi dizna za upuštanje argona. U zavisnosti od pritiska argona postizane su brzine hladjenja do 500° C/sec.

U cilju odredjivanja uticaja brzine hladjenja, temperature pregrevanja i vremena zadržavanja u beta oblasti na temperaturu beta + alfa fazne promene izvedene su tri grupe eksperimenata:

a) Uticaj temperature. Uzorci su spuštani u grejnu zonu zagrejanu na 900° C, što je obezbedjivalo veliku brzinu zagrevanja. Po dostizanju željene temperature ($670-770^{\circ}$ C) uzorci su bez zadržavanja premeštani u hladnu zonu. Hladjenje je izvodjeno u vakuumu prosečnom brzinom od 13° C/sec. Stepem pregrevanja je odredjivan kao razlika temperature alfa + beta transformacije dobijene pri ostvarenoj brzini zagrevanja i temperatura do kojih su pojedinačni uzorci zagrejani.

b) Uticaj brzine hlađenja. Eksperimentalni postupak je isti kao i u predhodnom slučaju, izuzev što su uzorci posle različitih stepeni pregrevanja hlađeni različitim brzinama u struji argona.

c) Uticaj vremena. Uzorci su spuštani u grejnu zonu zagrejanu na 800°C . Kada uzorak dostigne željenu temperaturu ($670-770^{\circ}\text{C}$) premeštan je u periferni deo grejne zone, u kome je temperatura bila identičan onoj do koje je uzorak zagrejan. Stabilizacija temperature je postizana za manje od jednog minuta. U toku stabilizacije varijacije temperature nisu bile veće od $\pm 3^{\circ}\text{C}$. Uzorci su na konstantnoj temperaturi zadržavali različita vremena (max 1 čas). Hlađenje je vršeno u vakuumu prosečnom brzinom od $10,5^{\circ}\text{C/sec}$.

Brzine hlađenja su izračunavane na taj način što su promene temperature od 675°C do temperature transformacije (manje brzine hlađenja) odnosno 578°C (veće brzine hlađenja) deljene sa vremenom potrebnim za ostvarenje sniženje temperature. Tačnost ovako odredjenih brzina hlađenja bila je 10 %.

Temperature transformacije očitavane su sa tačnošću $\pm 2^{\circ}\text{C}$, što je bilo uslovljeno klasom pisača.

Ispitivanje mikrostrukture vršeno je u polarizovanoj svetlosti nakon uobičajene pripreme. Veličina zrna odredjivana je linearnom "intercept" metodom, što je s obzirom na prirodu strukture obezbedjivalo tačnost ne veću od 20%.

3. REZULTATI

3.1. Uticaj temperature

Uticaj pregrevanja na temperaturu beta $\rightarrow$ alfa transformacije prikazan je na sl. 1. Sa povećanjem stepena pregrevanja temperatura transformacije opada. Pregrevanje manje od 20°C neznatno utiče na temperaturu transformacije. Veliko sniženje temperature transformacije od oko 15°C javlja se pri stepenu pregrevanja 20 do 30°C . Dalje povećanje stepena pregrevanja od 30 do 80°C snižava temperaturu transformacije u istoj srazmeri kao pregrevanje manje od 20°C . Pregrevanje veće od 80°C nema više uticaja na temperaturu transformacije.

U zavisnosti od stepena pregrevanja karakter krivih hladjenja se menja kao što je to prikazano na sl. 2. Kada je pregrevanje manje od 15°C transformacija se odigrava bez rekalescencije (krive a, b, c i d na sl. 2). Pri stepenu pregrevanja bliskom 20°C javlja se mala rekalescencija (kriva e). Pregrevanje od 20 do 30°C izaziva već primetnu rekalescenciju (kriva f). Kada je pregrevanje veće od 30°C rekalescencija dostiže približno konstantnu vrednost (krive od g do n).

3.2. Uticaj vremena

Uticaj vremena zadržavanja u beta oblasti na temperaturu beta $\rightarrow$ alfa transformacije u zavisnosti od stepena pregrevanja prikazan je na sl. 3. Na ordinatnu osu su na- nete temperature transformacije u decimalnoj skali a na apscisnu vremena zadržavanja u log skali. Rezultati pokazuju da se pri malim stepenima pregrevanja (krive I i II) temperature transformacije snižava sa produženjem vremena zadržavanja do neke konstantne vrednosti. Na pr. potrebno

je 60 min. da se temperatura transformacije uzorka pregrijanog 5°C (kriva I) dostigne konstantnu vrednost, dok je za uzorak pregrijan 10°C (kriva II) dovoljno 14 sec. Temperature transformacije uzoraka pregrijanih 30, 55 i 90°C (krive III, IV i V) ne menjaju se sa produženjem vremena zadržavanja.

Vreme utiče na karakter krivih hlađenja samo ako je pregrevanje manje od 20°C . Na sl. 4 prikazane su krive hlađenja dobijene nakon različitih vremena zadržavanja na 675°C (5°C pregrevanje). Pri kratkotrajnom zadržavanju (manje od 10 sec.) transformacija se odigrava bez rekalescencije (kriva a). Rekalescencija se javlja kada vreme zadržavanja dostigne 10 sec. (kriva b) i dalje raste (krive c do h) dok ne dostigne približno konstantnu vrednost (krive i do k). Kada je stepen pregrevanja 10°C rekalescencija se javlja već nakon 5 sec. zadržavanja.

3.3. Uticaj brzine hlađenja

Uticaj brzine hlađenja na temperaturu transformacije u zavisnosti od stepena pregrevanja prikazan je na sl. 5. Brzine hlađenja nanete su na **apscisu** osu u log skali a temperature transformacije na ordinatnu osu u decimalnoj skali. Rezultati pokazuju da temperatura transformacije opada sa povećanjem brzine hlađenja. Razlike u temperaturama transformacije izazvane različitim stepenima pregrevanja (vidi sl. 1) ostaju nepromenjene kada je brzina hlađenja manja od približno 300°C/sec do 400°C/sec . Kada se brzina hlađenja poveća iznad ove vrednosti razlike u temperaturama transformacije počinju da se smanjuju, dok pri brzini od oko 500°C/sec ne postanu zanemarljivo male.

Na krivoj I (10°C pregrevanje) javlja se jasan prevoj na 625°C . Sličan prevoj javlja se i na krivoj II (35°C pregrevanje) na 615°C . Kriva III prikazuje uticaj brzine hlađenja na temperaturu transformacije uzoraka pregrijetih 55 i 80°C . I ako su u pitanju dva stepena pregrevanja koja bi trebalo da imaju izvesnog uticaja na temperaturu transformacije (vidi sl. 1); ovde je te razlike teško uočiti čak i pri najmanjim brzinama hlađenja. S obzirom da je tačnost kojom su određene brzine hlađenja manja od očekivanih razlika, te tačke koje predstavljaju temperature transformacije pri raznim brzinama hlađenja pripadaju istoj krivoj. Zato prevoj, koji se javlja na ovoj krivoj na 605 do 610°C , nije dovoljno jasan kao u dva predhodna slučaja.

Gornji rezultati pokazuju jednu opštu pojavu, da se prevoj tj. diskontinuitet u kinetici transformacije javlja na nižoj temperaturi i pri manjoj brzini hlađenja kada je stepen pregrevanja veći.

Karakter krivih hlađenja uopšte ne zavisi od brzine hlađenja. Tako na pr. transformacija se odigrava bez rekalescencije i pri najvećim brzinama hlađenja kada je stepen pregrevanja 5 do 10°C (sl. 6). Rekalescencija se javlja pri svim brzinama hlađenja kada je stepen pregrevanja veći od 20°C . Međutim, zapaženo je da sa povećanjem brzine hlađenja preko 300 do 400°C/sec rekalescencija nešto smanjuje (sl. 7).

Mikroskopska ispitivanja su pokazala da veličina i oblik alfa zrna zavise od brzine hlađenja odnosno temperatura transformacije. Zavisnost veličine zrna od temperature transformacije za četiri različita stepena pregrevanja prikazana je na sl. 8. Veličina zrna je naneta na

apscisnu osu u log skali a temperatura transformacije na ordinatnu osu u decimalnoj skali. Rezultati pokazuju da veličina zrna u početku opada sa sniženjem temperature transformacije. Najmanje zrno veličine 40 do 160 mikrona (sl. 9b) dobijeno je pri hlađenju brzinama 100 do 130^oC/sec, nakon 5. do 10^o C pregrevanja. Kada je stepen pregrevanja 30 do 35, 50 do 55 i 80 do 85^o C najmanje zrno veličine 180 do 200 mikrona dobija se pri brzinama hlađenja 50 do 70^o C/sec. Sa daljim povećanjem brzine hlađenja, odnosno sniženjem temperature transformacije veličina zrna raste u svim slučajevima. Iz dijagrama se vidi da se prevojne tačke nalaze na 625, 615 i 610^o C u zavisnosti od stepena pregrevanja (pregrevanja 5 do 10, 30 do 35 i 50 do 55 odnosno 80 do 85^o C respektivno). Treba napomenuti da su temperature na kojima promena veličine zrna menja znak u saglasnosti sa temperaturama na kojima se javlja diskontinuitet u kinetici transformacije (vidi slike 5 i 6).

Sa povećanjem brzine hlađenja odnosno sniženjem temperature transformacije menja se i oblik zrna. U zoni 1 (sl. 6) javlja se poligonalna struktura (slike 9a i 9b), u zoni 2 izmešane poligonalna i nepravilna struktura (sl. 9c) i u zoni 3 nepravilna struktura sastavljena od zrna izreckanih granica (sl. 9d). Treba naglasiti, da prelaz jednog vida strukture u drugi nije oštar, i da zrna nepravilnih-izreckanih granica pokazuju utoliko veći stepen izreckanosti ukoliko je temperatura transformacije niža.

4. DISKUSIJA

4.1. Kinetika transformacije

Rezultati prikazani na sl. 1 pokazuju da je stvaranje klica alfa faze utoliko teže ukoliko je temperatura

pregrevanja veća. Vreme zadržavanja utiče na isti način, ali u daleko manjoj meri. Ovo navodi na zaključak da se pod uticajem temperature i vremena način stvaranja klica menja. Krive hladjenja potvrđuju ovu pretpostavku. Poznato je da se orijentaciona zavisna transformacija dešava bez podhladjenja ili uz malo podhladjenje, tj. da se pri transformaciji ne javlja rekalescencija⁹⁾. Iz ovoga možemo izvesti zaključak da se stvaranje klica pri beta + alfa transformaciji odigrava uz zadržavanje orijentacione veze između alfa i beta faze kada je stepen pregrevanja manji od 20° C (krive a, b, c i d na sl. 2), a vreme zadržavanja kraće od nekoliko sekundi (kriva a na sl. 4). Sa povećanjem temperature pregrevanja odnosno produženjem vremena zadržavanja broj klica stvorenih na ovaj način je sve manji, što ima za posledicu sve veću rekalescenciju.

Niža temperatura transformacije pri homogenom stvaranju klica nego pri orijentaciono zavisnom sada se može objasniti poznatim energetskim razmatranjima. Promena slobodne energije ΔG pri faznoj promeni u čvrstom stanju jednaka je zbiru tri faktora: promeni slobodne energije usled transformacije (hemijske slobodne energije) ΔG_v , površinske energije potrebne za stvaranje međupovršine ΔG_s , i elastične energije ΔG_e koja proističe iz promene zapremine u toku transformacije. Pri orijentaciono zavisnoj transformaciji potrebno je manje podhladjenje da dodje do transformacije jer se neophodna razlika u slobodnim energijama dveju faza pre dostiže, s obzirom da je član ΔG_s koji je pozitivan i otežava stvaranje klica manji. Površinska energija ΔG_s određuje na pr. kristalografsku ravan na kojoj se obrazuju klice nove faze¹⁰⁾. To je u stvari ona ravan koja omogućuje da su ravni na međupovršini povezane

uz najmanje neslaganje. Dalje, poznato je da su granice zrna privilegovana mesta za stvaranje klica nove faze. Stvaranje klica na granicama zrna može se odvijati uz zadržavanje kristalografske veze između dveju faza¹¹⁾, što takodje čini da je član ΔG_s manji. Najzad, francuski istraživači^{6,7,12)} pretpostavljaju da klice alfa faze ostaju u beta fazi i nakon završetka alfa $\rightarrow$ beta transformacije, i da služe kao centri kristalizacije pri ponovnoj beta $\rightarrow$ alfa transformaciji. Na ovaj način može se, takodje, objasniti postojanje orijentacione veze između dveju faza.

Donze i Faivre¹²⁾ su utvrdili da se alfa monokristal može sačuvati u prvobitnoj orijentaciji, ako se obezbedi da se pri zagrevanju ne predje kritična temperatura, pri čemu vreme nije kritično. Pomenuti autori smatraju, da do razaranja zaostalih klica alfa faze može doći samo ako temperatura predje kritičnu vrednost. Prema tome, hipoteza o zaostalim klicama mogla bi biti iskorišćena da delimično objasnimo naše rezultate i da zaključimo, da do razaranja klica dolazi kada je stepen pregrevanja veći od 20 do 30° C. Međutim, činjenica da vreme ne utiče na regeneraciju monokristala¹²⁾ dok utiče na kinetiku transformacije i karakter krivih hlađenja (slike 3 i 4), navodi nas na zaključak da uzrok ovoj pojavi ne mogu biti zaostale klice.

Opšta znanja o faznim promenama i energetska razmatranja omogućuju nam da zaključimo da se stvaranje klica najlakše dešava na višestrukim spojevima granica zrna. Viša temperatura zagrevanja odnosno duže vreme zadržavanja u beta oblasti prouzrokuju veća beta zrna, što smanjuje površinu granica. Znači, smanjuje se broj privilegovanih mesta za stvaranje klice i otežava obrazovanje alfa

faze, koja će se na neprivilegovanim mestima obrazovati tek pri većem podhladjenju. Na ovaj način sniženje temperature transformacije sa povišenjem temperature zagrevanja odnosno produženjem vremena zadržavanja u beta oblasti može se objasniti rastom beta zrna. Polazeći od činjenice da stvaranje klica po granicama zrna može ići uz zadržavanje kristalografske veze između stare i nove faze, možemo objasniti i karakter krivih hladjenja. Naime, ukoliko je beta struktura finija veći broj klica stvara se na granicama zrna uz zadržavanje kristalografske veze sa beta fazom. Sa povećanjem beta zrna homogeno stvaranje klica sve više preovladjuje, što ima za posledicu povećanje rekalescencije, i kao što je gore rečeno snižavanje temperature transformacije.

Stvaranje klica na privilegovanim ravnima beta faze može, takodje, prouzrokovati opisane pojave. Medjutim, nije jasno kakve bi promene temperatura i vreme zadržavanja u beta oblasti trebalo da unesu u beta rešetku da ona u jednom slučaju predje u alfa fazu uz zadržavanje orijentacione veze a drugi put ne.

4.2. Mehanizam transformacije

Naši rezultati pokazuju da stepen pregrevanja ne utiče na isti način na kinetiku transformacije pri svim brzinama hladjenja (sl. 5). Ovo nas navodi na zaključak da se sa povećanjem brzine hladjenja mehanizam transformacije menja.

Činjenica da se pri brzinama hladjenja koje leže desno od prevoja (sl. 5) dobija poligonalna struktura jasno pokazuje da se transformacija u ovoj oblasti odvija difuzionim mehanizmom. Sledeći argumenat u prilog ovog zaključka je da veličina zrna opada sa sniženjem temperature

transformacije, što je posledica povećanja brzine stvaranja klica sa povećanjem podhladjenja pri difuzionoj transformaciji. Konačno, razlike u temperaturama transformacije izazvane različitim stepenima pregrevanja ostaju nepromenjene u ovoj oblasti, što pokazuje da se mehanizam transformacije ne menja. Zaključak je da se orijentaciono zavisna transformacija, koja se javlja pri ovim brzinama hlađenja, kada je stepen pregrevanja manji od 20°C a vreme zadržavanja kratko, odvija difuzionim mehanizmom.

Diskontinuitet u kinetici transformacije (sl. 5) indicira promenu mehanizma transformacije. Struktura koja se dobija pri brzinama hlađenja koje leže levo od prevojnih tačaka sastavljena je iz smeše poligonalnih i izrečanih zrna, pri čemu stepen izrečkanosti i količina izrečanih zrna rastu sa sniženjem temperature transformacije. Po analogiji sa legurama uranijuma¹³⁾ možemo zaključiti da struktura ovih karakteristika nastaje beinitnom reakcijom. Povećanje veličine zrna sa sniženjem temperature transformacije u oblasti brzina hlađenja levo od prevoja (slike 5 i 6) potvrđuju ovaj zaključak, jer je utvrđeno^{13,14)} da se kod legura uranijuma dobija sve veće zrno ukoliko je temperatura transformacije u beinitnoj oblasti niža. I konačno, smanjenje razlike u temperaturama transformacije, izazvane razlikama u stepenima pregrevanja, sa povećanjem brzine hlađenja u beinitnoj oblasti dokazuje da se mehanizam stvaranja klica menja. Ovo nam dalje omogućuje da izvedemo zaključak da veličina beta zrna, odnosno temperatura pregrevanja i vreme zadržavanja u beta oblasti, utiču na kinetiku transformacije samo ako se stvaranje klica odigrava difuzionim mehanizmom. Ukoliko je uloga smicanja veća u obrazovanju alfa strukture utoliko je uticaj veličine zrna manji.

Pri brzinama hlađenja nešto većim od $500^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ razlike u temperaturama transformacije izazvane različitim stepenima pregrevanja se gube, što omogućuje da se zaključí da M_s temperatura leži na 550°C ili nešto nižoj temperaturi.

Polazeći od zaključka da pregrevanje utiče na kinetiku transformacije samo ako se stvaranje klica odigrava difuzijom, priroda beinitne reakcije, pri kojoj i difuzija i smicanje igraju ulogu u obrazovanju strukture, može se objasniti na sledeći način. U beinitnoj oblasti stvaranje klica se odigrava difuzijom. Ako se rast zrna nastavi difuzijom dobija se poligonalna struktura. Međutim, rast zrna može u početku ići difuzijom i nastaviti se smicanjem, što daje izreckanu strukturu. Prema tome, ukoliko je uloga smicanja veća utoliko su granice zrna nepravilne, tj. izreckanije jer se rast odvija duž privilegovanih pravaca. Smanjenje uticaja pregrevanja sa povećanjem brzine hlađenja po ovoj interpretaciji bi značilo, da se sa sniženjem temperature transformacije u beinitnoj oblasti uloga difuzije smanjuje, dok se konačno ne dostigne M_s temperatura.

Z A K L J U Č A K

Ispitan je uticaj brzine hlađenja, stepena pregrevanja i vremena zadržavanja u beta oblasti na kinetiku beta $\rightarrow$ alfa transformacije.

Sniženje temperature transformacije sa povećanjem stepena pregrevanja odnosno produženjem vremena zadržavanja u beta oblasti dokazuje da viša temperatura i duže vreme otežavaju stvaranje klica alfa faze. Zaključeno je

da ovu pojavu treba pripisati uticaju veličine beta zrna na kinetiku transformacije.

Diskontinuitet u kinetici transformacije pri kontinuiranom hladjenju sugerira zaključak da se mehanizam transformacije menja sa povećanjem brzine hladjenja. Mikroskopska ispitivanja veličine i oblika alfa zrna potvrđuju ovu pretpostavku i omogućuju da se zaključi da se mehanizam transformacije menja od difuzionog ka beinitnom i martenzitnom.

Uticaj pregrevanja na temperaturu transformacije pri raznim brzinama hladjenja sugerira pretpostavku da veličina beta zrna utiče na kinetiku transformacije samo kada se stvaranje klica odigrava difuzionim mehanizmom. Ista činjenica omogućuje da se zaključi da M_s temperatura leži na 550°C ili nešto nižoj temperaturi.

Karakter krivih hladjenja sugerira pretpostavku da se transformacija u difuzionoj oblasti može odvijati uz zadržavanje orijentacione veze između alfa i beta faze, kada je stepen pregrevanja manji od 20°C a vreme zadržavanja kratko.

L I T E R A T U R A

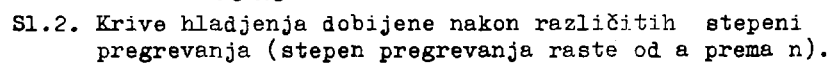
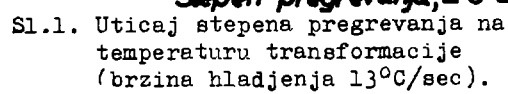
1. P. Duwez, J. Appl. Phys., 24 (1953) 152
2. J. Burke and P.H. Dixon, J. Nucl. Mat., 7 (1962) 38
3. H. Aubert, Rapport C.E.A. No 2186 (1962)
4. Dj. Drobnjak, Radioaktivni izotopi i zračenje, 5 (1964) 842
5. Dj. Drobnjak, J. Nucl. Mat., u štampi
6. J. Beaudier, G. Donze and G. Cabane, J. Nucl. Mat., 3 (1961) 30
7. G. Donze, J. Nucl. Mat., 5 (1962) 150
8. A. Mihajlović; M. Gvozdenović i O. Nešić, I.B.K. 26 (1963)
9. A. N. Holden, Physical Metallurgy of Uranium (Addison-Wesley, U.S.A., 1958) 126
10. R.E. Smallman, Modern Physical Metallurgy (Butterworths, London, 1962) 104
11. H. I. Aaronson, Inst. Met. Monograph and Rep. Series No 18 (1955) 47
12. G. Donze and B.R. Faivre, Mem. Sci. Rev. Met., 57 (1960) 16
13. D.C. Minty and B.R. Butcher, J. Nucl. Energy 16 (1962) 369
14. B.R. Butcher, Inst. Met. Symposium, Paper No 1 (1962)

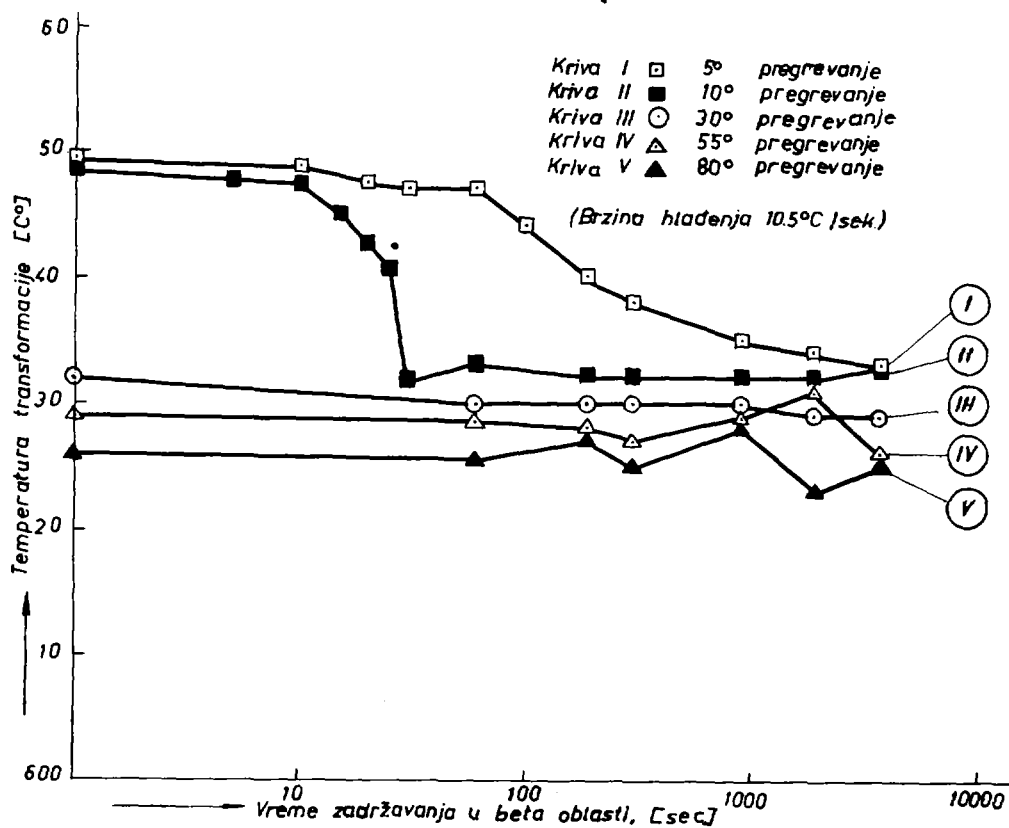
T a b e l a 1

Fe	.....	100 - 120 ppm
Ni	.....	10 - 25 "
Al	.....	100 "
Mn	.....	10 - 20 "
Co	.....	2 "
Cu	.....	5 - 10 "
Si	.....	15 "
Cr	.....	15 "
B	.....	0,02 "
F	.....	5 "
C	.....	1300 - 1500 "
O ₂	.....	90 "
H ₂	.....	2 "
N ₂	.....	20 - 80 "

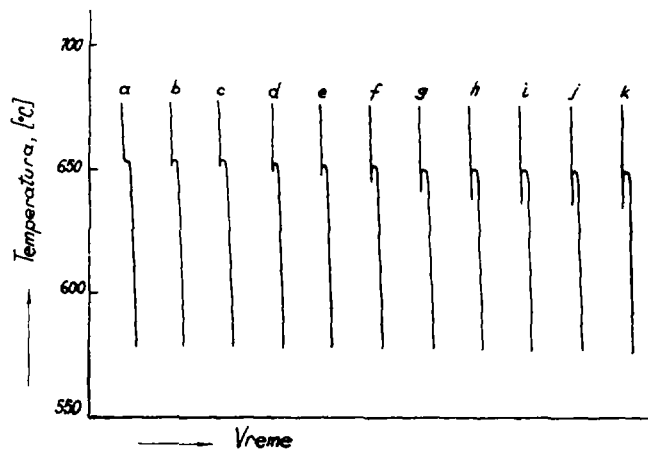
Z A H V A L N O S T

Autori žele da zahvale P. Tepavcu i M. Marjanoviću na pomoći u eksperimentalnom radu i B. Djuriću na korisnim diskusijama.

[illegible]

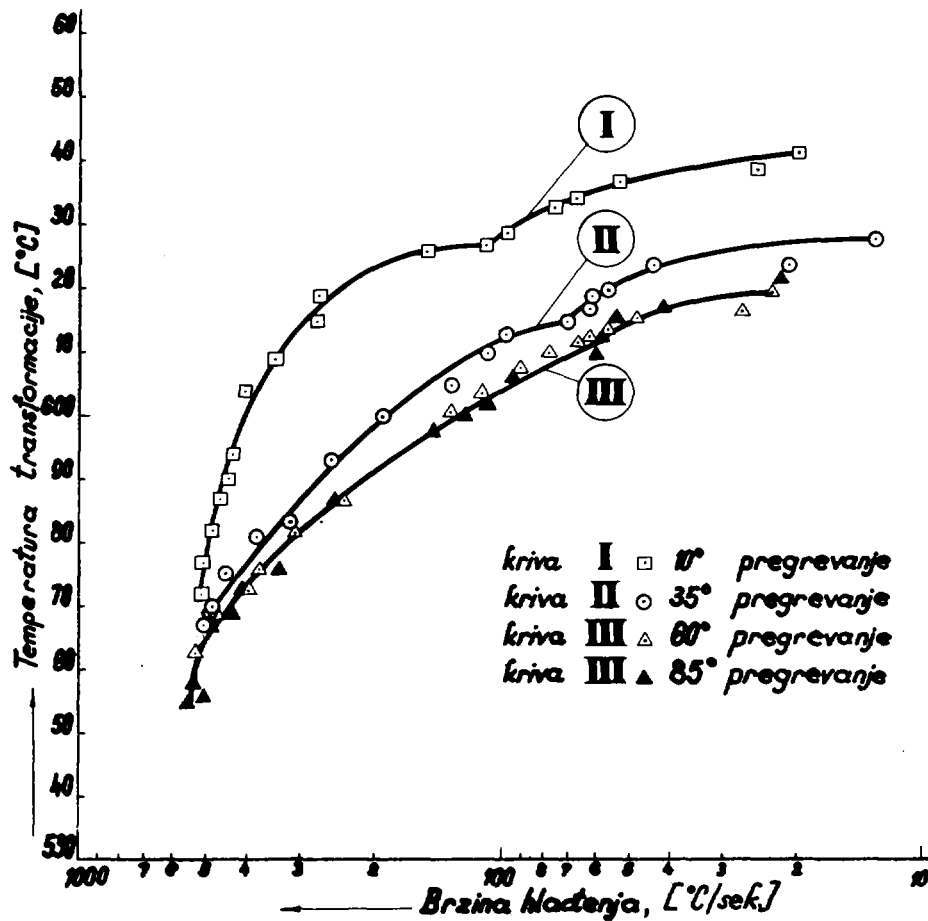


Sl.3. Uticaj vremena zadržavanja na temperaturu transformacije (brzina hlađenja 10,5°C/sec).

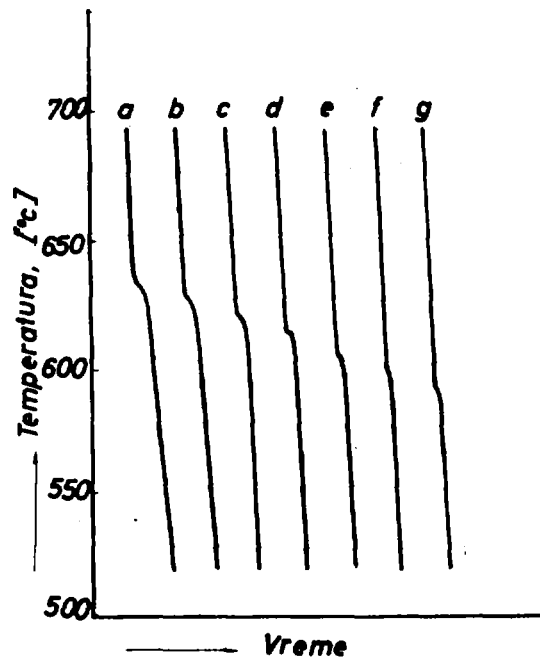


Sl.4. Krive hlađenja dobijene nakon različitih vremena zadržavanja na 675°C (pregrevanje 5°C); vreme zadržavanja raste od a prema k.

krive	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k
vreme u sec.	0	10	20	30	60	100	180	300	900	1800	3600

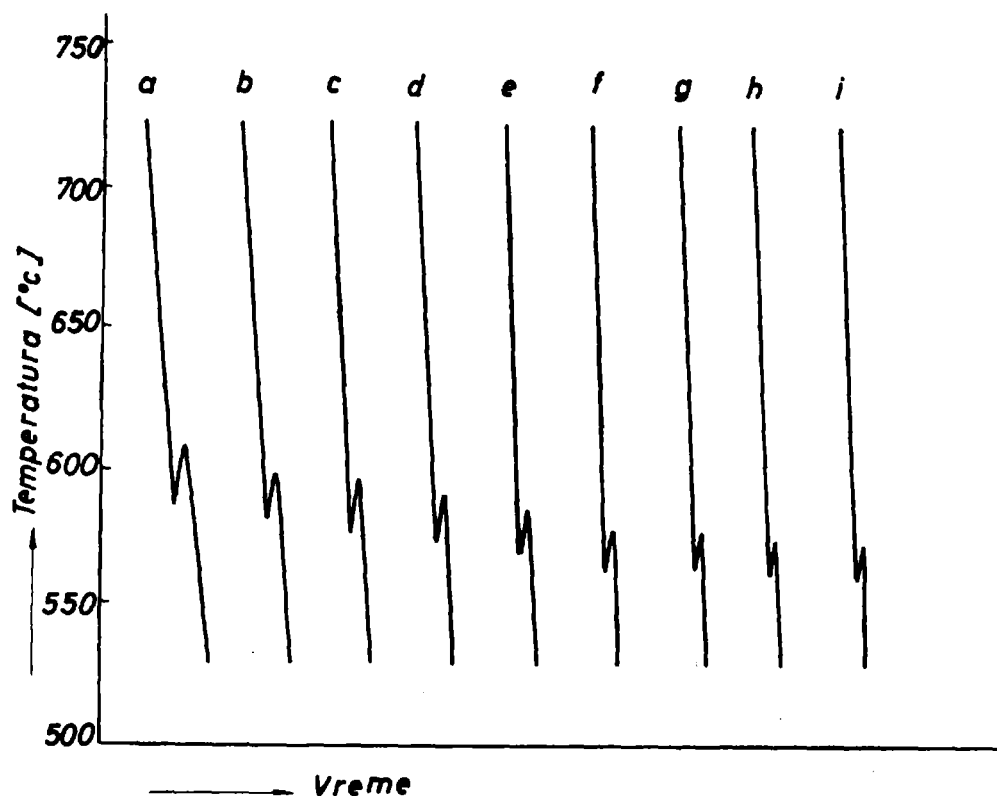


Sl.5. Uticaj brzine hlađenja na temperaturu transformacije u zavisnosti od stepena pregrevanja.



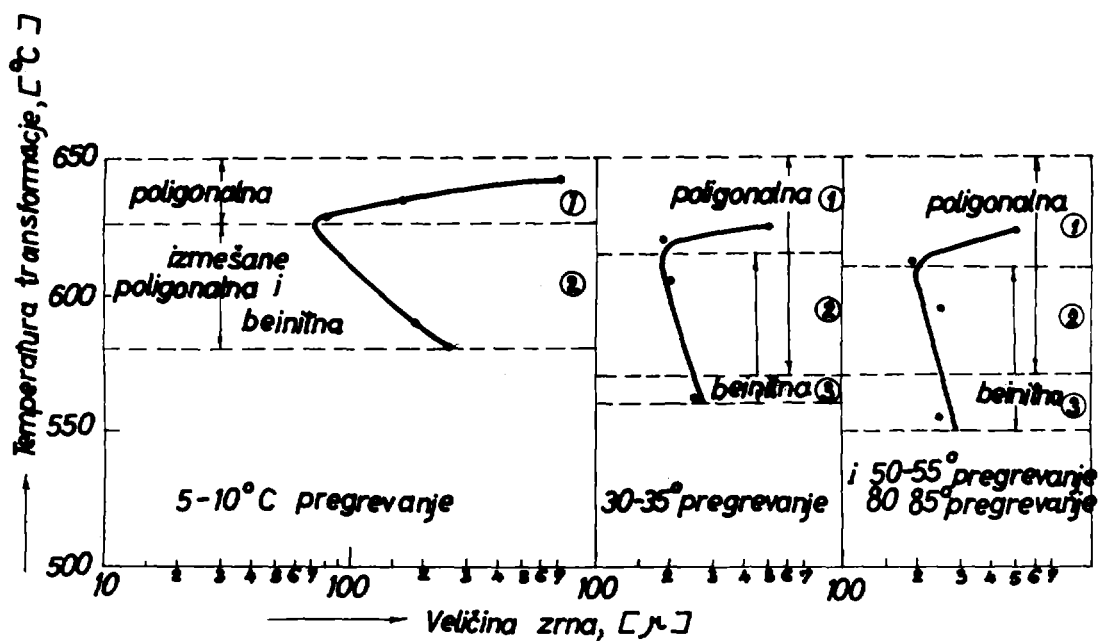
Sl.6. Krive hlađenja dobijene pri hlađenju različitim brzinama sa 675°C (pregrevanje 10°C); brzina hlađenja raste od a prema g.

kriva	a	b	c	d	e	f	g
brzina hla-							
đenja u °C/sec	320	360	400	420	440	460	480

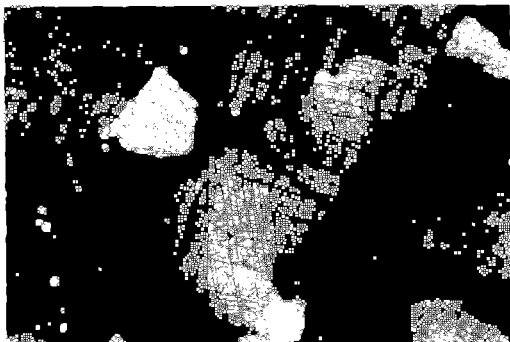


Sl.7. Krive hladjenja dobijene pri hladjenju različitim brzinama sa 725°C (pregrevanje 60°C); brzina hladjenja raste od a prema i.

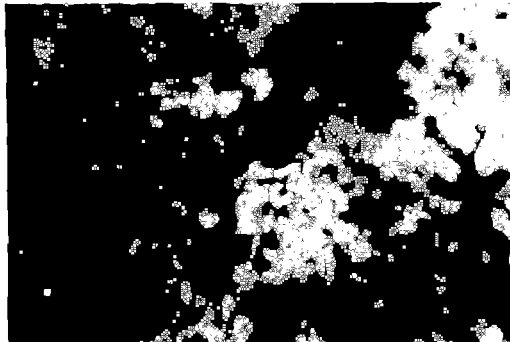
kriva	a	b	c	d	e	f	g	h	i
brzina hladjenja u °C/sec	235	305	370	390	470	500	500	515	555



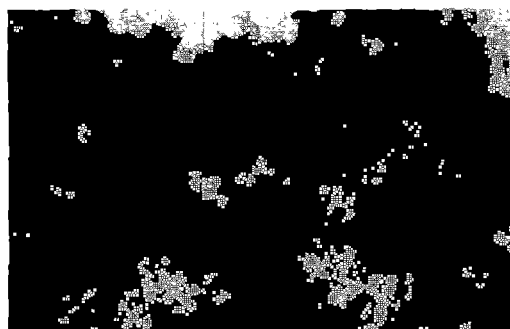
Sl.8. Veličina zrna u zavisnosti od stepena pregrevanje (levo 5-10°C; sredina 30-35°C; desno 50-55 i 80-85°C).



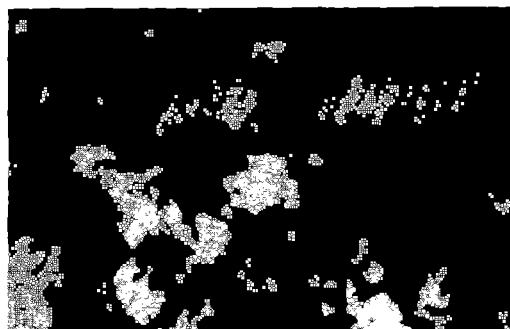
a



b



c



d

Sl.9. Tipične mikrostrukture dobijene pri kontinuiranom hladjenju različitim brzinama. Polarizovana svetlost. ($\times 50$)

- a. grubozrna poligonalna struktura (pregrevanje 680°C , brzina hladjenja 20°C/sec)
- b. sitnozrna poligonalna struktura (pregrevanje 680°C , brzina hladjenja 130°C/sec)
- c. izmešane poligonalna i beinitna struktura (pregrevanje 700°C , brzina hladjenja 130°C/sec)
- d. beinitna struktura (pregrevanje 750°C , brzina hladjenja 500°C/sec).

Izdavač:
Institut za nuklearne nauke „Boris Kidrič”
Poštanski fak 522
Beograd - Vinča